

금강권역의 호소 및 하천 퇴적물 특성 비교

황종연 · 한의정 · 김태근 · 유순주 · 윤영삼 · 정용순*

국립환경연구원 금강수질검사소

*충북대학교 화학과

Comparison of the Characteristics of Reservoir and Stream Sediments in Kum River basin

Jong-Yeon Hwang · Eui-Jung Han · Tae-Keun Kim ·
Soon-Ju Yu · Young-Sam Yoon · Yong-Soon Chung*

Kum River Water Quality Research Laboratory

National Institute of Environmental Research

*Department of Chemistry, Chung Buk National University

Abstract

In order to study the general characteristics of reservoir and stream sediments, various analysis tests were conducted. Water contents and ignition loss were measured to know the primary sediment characteristics. The COD, total phosphorus and nitrogen were contained for the determination of organic substance content. For the purpose of establishing the contamination degree of heavy metals, some heavy metal contents were investigated. In heavy metal contents, reservoir sediments showed somewhat higher value than stream sediments. As a result, the reservoir sediment content of all analysis items were higher than stream sediment.

keywords : Lake Sediment, Stream Sediment, Ignition Loss, Organic Content.

I. 서 론

퇴적물의 성분원소 분석은 적당한 시료채취기술이 수반된다면 퇴적물과 호소에 영향을 주는 외부 환경요인 이해하는데 많은 정보를 제공할 수 있다. 호소의 퇴적물은 외부 토양에서 유입되는 물질과 자체에서 생성되는 물질로 구성되기 때문에 퇴적물의 화학적 구성은 퇴적물과 호소수 사이의 함수관계라 볼 수 있다. 따라서, 호소 퇴적물과 수질과의 관계를 비교 및 평가하는 분야의 연구가 많이 발전하게 되었고, 퇴적물의 영양상태를 토대로 호소수의 수질을 예측하려는 시도가 진행되고 있다. 또한, 오랜기간 퇴적물자료를 축적하여 퇴적물의 생성연대 및 미래의 장기적인 수질을 예측하려는 연구가 많은 연구자들에 의해 진행되고 있다. 이와 같이 연구자들은 퇴적물의 화학적 조성이 호소의 역사를 이해하는데 중요한 역할을 할 수 있다고 판단하여, 초기의 퇴적학 연구에서는 퇴적물에 기록되어 있는 역사를 해석하여 호소 생태계의 역사를 역으로 확인하는 연구에 많은 시간과 노력을 기울였다. 이러한 연구자료를 토대로 최근에 퇴적물과 수층간의 물질교환작용 등을 통해 호소 수질을 파악하려는 시도에 많은 관심을 기울이고 있다. 퇴적물은 수질에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 퇴적층을 포함한 호소전체의 생태계에도 영향을 미칠 수 있다는 이론을 바탕으로 퇴적물과 수질과의 관계를 규명하는 분야가 학문의 한 분야로 발전하기 시작한 것은 1860년 이전 부터이다. 특히 북유럽의 덴마크, 스웨덴학자들은 자국내에 빙하로 인하여 생긴 호수가 많은 관계로 퇴적물 분야에 대한 광범위한 연구를 진행하였으며, 육지의 대부분이 해수면보다 낮은 네덜란드의 학자들 또한 그들의 자연환경을 극복하기 위하여 많은 비용과 시간을 투자하였다. 이들 학자들은 수심이 낮은 작은 호소에서 부터 내륙의 수심이 깊은 호소까지 연구범위를 확대하면서 체계적인 연

구를 수행하였다. 특히, Hakanson¹⁾은 퇴적물에 관하여 체계적으로 연구하였으며, 이보다 앞서 퇴적물과 호소의 부영양 화정도를 판단하는 기준에 관한 연구는 Hansen²⁾에 의하여 체계가 세워졌다. 또한, Hansen³⁾은, 퇴적물의 구분에 대한 구체적인 방법과 더불어 퇴적물의 종류에 따른 명명법을 확립하는데 크게 공헌하였고, 퇴적물의 탄소와 질소의 함량만을 통해 호소의 영양상태를 파악하는 기준을 세웠다. Anderson⁴⁾은 퇴적물의 인함량을 분석함에 있어서 기존의 Standard method와 Ignition method를 비교하는 연구를 수행함으로써 기존 방법을 발전 시키는데 노력하였다. 미국과 캐나다의 학자들은 국경에 접해있는 5대호에 관한 연구를 많이 하였으며, 그들은 호소가 내륙에 형성되어 있기 때문에 호소로 유입된 오염물질이 해양으로 흘러 갈 수 없어 오염이 가중된다고 보고하였다. Hosomi⁵⁾는 퇴적물의 영양염류 용출속도식을 기존의 연구자들과는 다른 방법으로 접근하여 여러 가지 다른 형태의 용출속도식을 보고하였다. Hosomi와 Sudo⁶⁾ 등도 퇴적물에서 인의 존재함량 및 존재형태 등에 대하여 많은 연구를 수행하였다. 또한 Nakajima⁷⁾등은 퇴적물중의 인함량과 인과 결합되어 용출되어 나오는 중금속, 특히 Organic -P, Calcium-P, Aluminum-P, Iron-P의 함량 분포에 관하여 연구하였다. 국내에서도 마산만 및 팔당호 준설⁸⁾등과 관련하여 퇴적물에 관한 보고서가 있으나, 전국의 주요호소에 대한 퇴적물의 연구는 체계적으로 진행되어 있지는 않은 상태에 있다. 따라서, 본 연구에서는 앞서 언급한 내용들을 토대로 호소 퇴적물과 하천 퇴적물의 특징을 살펴보고자 하였으며, 중부권의 주요 상수원인 대청호와 삼교호 및 금강호를 비교하고, 아울러 금강수계의 주요 도시 관류 하천을 평가하였다.

II. 연구개요

1. 조사지점 및 항목

시료채취 지점은 대청호의 경우 문의(K1), 추동(K2), 회남(K3), 추소리(K4)의 대표적인 4 지점을 선정 하였으며, 삼교호 증류(K5), 하류(K6) 및 금강호 증류 (K7), 하류(K8)지점의 시료도 채취하여 조사하였다. 대청호의 시료 채취 지점중 K1 및 K2는 상수원 취수탑이 위치하고 있고, K3는 1997년 까지 양어장이 밀집해 있었으며, 옥천천이 유입되며 대청호 본류와 만나는 지역이 K4이다. 또한, 대청호와 달리 하구언 건설로 인하여 조성된 삼교호와 금강호의 경우, 내륙의 일반 인공호소와는 차이점이 있을 것으로 판단되어 각각 2개의 지점을 선정하여 시료를 채취하였다. 삼교호는 수문을 기준으로 호소전체의 중간에 위치한 K5와 하류 지점인 K6를 조사지점으로 선정하여 시료를 채취하였다. 금강호의 경우 호소의 중간의 K7지점과 수문 근처 지점인 K8을 대표지점으로 선정하여 시료를 채취하였다. 또한, 호소의 퇴적물과 비교하기 위해 대전 및 청주지역의 하천을 조사 대상에 포함시켰다. 대전지역은 갑천을 중심으로 대전 공단이 시작되는 K9 및 공단이 끝나는 K10 지점과 신구교(K11)를 선정하여 조사하였다. 미호천의 경우 2곳(K12, K13)의 조사지점을 선정 하였으며, 추소리 유역으로 곧바로 유입되는 옥천천(K14)을 조사대상에 포함시켰다. 이와 같이 14곳의 지점을 선정하여 호소와 하천 퇴적물의 특성을 비교하였다. 조사항목으로는 수분함량 및 유기물의 전체적인 함량정도를 나타내는 강열감량을 조사하였고, COD, 총인 및 총질소, 토양에 많이 존재하는 대표적인 몇가지 중금속의 함량을 조사하였다.

III. 연구방법

1. 시료채취

대청호 및 삼교호, 금강호의 경우는 Core - Sampler (Wild Co. USA)를 사용하여 $\varnothing 4.8(i. d.)cm \times 50(L.)cm$ 되는 아크릴 컬럼을 사용하여 채취하였다. 채취한 시료는 외부로부터의 공기유입을 차단하여 빠른 시간 내에 실험실로 운반 후 냉동보관하거나 즉시 실험을 실시하였다. 한편, 하천 퇴적물은 호소퇴적물과 구성입자의 형태가 매우 상이하므로 Core-Sampler를 이용하지 않고, Grab sampler를 이용하였으며 채취한 시료는 충분히 건조한 후 분석하였다.

2. 수분함량 및 강열감량

호소 퇴적물의 수분함량 측정은 채취한 칼럼시료의 상층부를 0~2cm 간격으로 절단한 후 건조기에서 105°C에서 2시간 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 건조시료의 무게가 항량이 되도록 한 후 건조전·후 무게차를 측정하여 수분함량을 결정하였다. 하천 퇴적물의 경우 입자의 구성이 대부분 모래로 되어 있기 때문에 수분함량의 측정이 불가능하였다. 한편, 토양 및 퇴적물의 대략적인 유기물함량을 나타내는 강열감량(Ignition Loss)은 충분히 건조된 시료 약 5g을 600°C 전기로에서 1시간 동안 강열시킨 후 시료를 데시케이터 속에서 항량이 되도록 한 후 강열전·후의 무게 차로써 계산하였다.

3. 화학적 산소요구량

건시료 적당량을 0.1N-KMnO₄용액 100ml에 넣고

30분간 수욕조에서 가열하여 분해한 뒤 용액을 여과한 다음 용액의 전체 부피를 500ml로 맞춘 후, 100ml를 취하여 0.1N-KMnO₄용액 10ml을 넣고 30분간 방치 후 KI(10w/v%)용액 5ml을 가하여 혼합한 뒤 이때 유리되어 나오는 요오드를 0.1N-Na₂S₂O₃ · 5H₂O용액으로 적정하여 계산하였다. 함량의 계산은 시료 1g당 과망간산칼륨용액에 의하여 소모된 소비량을 측정하여 식(1)을 사용하여 계산하였다.

$$COD_{sed} = (b-a) \times f \times 0.800 \times (500/100) \times (1/w) \quad \text{----- (1)}$$

COD_{sed} : 과망간산칼륨에 의한 산소소비량 (mg-O/g)

- a : 시료의 적정에 소모된 0.1N 티오황산나트륨 용액(ml)
- b : 바탕시험의 적정에 소모된 0.1N 티오황산 나트륨 용액(ml)
- f : 0.1N 티오황산나트륨 용액의 역가
- w : 취한 시료량(g)

0.800 : 0.1N 티오황산나트륨 용액 1ml의 산소 소모량(mg)

4. 총인 및 총질소 함량

퇴적물의 총인 실험은 Teflon vial에 건시료 일정량을 넣은 뒤 증류수 20ml과 K₂S₂O₈(potassium Peroxodisulfate) 약 3g을 넣은 뒤 밀폐한 다음 고압멸균기에서 3시간 분해하여 실온까지 냉각시킨 후 여과한 여액을 시험용액으로 사용하였다. 총질소의 실험은 semi kjeldahl method를 사용하였는데, 일정량 취한 시료를 진한 황산과 분해촉진제(K₂SO₄:CuSO₄ = 9:1)를 넣고 sand bath에서 청색이 될 때까지 분해 한 다음 상온으로 냉각시킨 후 증류수로 전체액의 부피가 50ml 되게 하였다. 이 용액을 No. 2 Filter paper로 여과하여 여

지를 씻은 부피까지 합하여 총부피를 100mL가 되게 하였다. 전처리한 시료 10ml를 NaOH(1:1)용액 10ml에 혼합한 다음 증류되어서 나오는 액은 봉산용액 10ml를 담아놓은 메스실린더에 끌이 잠기도록 하여 증류액의 부피가 60ml~70ml 될 때까지 증류액을 받은 후 0.01N-H₂SO₄용액으로 적정한 다음 식(2)를 이용하여 함량을 계산하였다.

$$N(\%) = \frac{[(V_f - V_b) \times 0.01 \times f \times 14 \times 10^{-3}] / (W_s \times V_d / V_i)}{\times 100(\%)} \quad \text{----- (2)}$$

V_i : 시료의 적정에 사용된 0.01N-H₂SO₄의 부피 (ml)

V_b : 바탕시험의 적정에 사용된 0.01N-H₂SO₄의 부피(ml)

f : 0.01N-H₂SO₄의 역가

W_s : 시료의 무게

V_d : 증류장치로 증류한 시료의 부피(ml)

V_f : 여과한 시료의 부피(ml)

5. 중금속 함량

토양 및 일반폐기물의 중금속 측정을 위한 전처리 방법으로는 질산분해방법, 질산-황산분해방법, 과염소산분해법 등 여러가지 방법이 Standard Method 및 일본 위생시험법, 수질오염공정시험법에 수록되어 있다. 그러나, 이들 방법은 실험자의 숙련된 정도 및 부주의 등에 의하여 위험할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 선택한 전처리방법으로는 고주파 파장을 이용하여 분해하는 마이크로파 전처리 방법을 선택하였다. 이 방법은 미국 EPA method 3051에 규정된 방법으로서, 미국 Milestone사의 모델 MLS 1200 Microwave digestion system을 이용하여 실시하였다. 건조된 적당량의 시료를 전처리용 Teflon 전처리 용기에 넣은 뒤 conc.-HNO₃용액 5ml를 넣고 30분간 각

각 다른 파장으로 분해 하였다. 전처리된 시료는 여과지로 여과한 후 50ml 메스플라스크의 표선을 증류수로 채운 뒤 ICP로 정량한 후 사용한 건시료에 대한 단위 무게당 함량으로 계산하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 수분함량 및 강열감량

수분함량은 호소와 하천의 구분을 명확히 해주는 항목이다. 대청호의 조사지점인 K1~K4는 41.91~70.804%의 수분 함량을 보였고, 하구호 조사지점인 K5~K8은 26.526~61.330%의 값을 가졌다. 홍수기전에 측정한 K1~K4 각 지점의 수분함량은 비슷한 값을 보였지만, 홍수기가 지나고 부유물질이 침강된 후의 측정값은 각 지점이 큰 차이를 보이는 것으로 보아 퇴적층의 상층부가 불균일화 되었음을 알 수 있었다. 한편 주기적으로 수문을 개방하는 삼교호와 금강호의 조사지점인 K5~K8의 경우는 홍수기전이었던 1차 조사시점의 수분 함량이 2차 조사시점보다 높게 나타났다. 이러한 이유는 홍수기 전의 1차 조사때는 수문이 장시간 개방되지 않아 퇴적물이 압축되는데 충분한 시간을 가져, 균일하게 누적될 수 있었기 때문으로 판단되며, 홍수기를 전후하여 수문의 개폐가 잦았던 2차 조사시점의 경우는 수분함량이 낮게 조사 되었다. 하천 퇴적물의 경우는 대부분의 입자조성이 사질형태로 되어있기 때문에 수분함량의 측정이 의미가 없는 것으로 판단되었고, 실제 측정이 매우 곤란하였다.

퇴적물의 전반적인 유기물 함량을 나타내는 강열감량은 호소 및 하천의 특성을 구분 짓는 뚜렷한 특징을 보였다. 강열감량은 1차 조사시점의 측정값이 전반적으로 모든 지점에서 2차 조사시점의 측정값보다 높게 나타났다. 대청호 조사지점인 K1~K4 지점의 측정값을 살펴보면, 1차조사 시점의

값은 2.497~10.855%이며, 특히 K1지점의 측정값이 상대적으로 낮았다. 2차 조사 측정값은 전체적으로 균일한 범위에서 1차 조사시점보다 높은 값을 보였는데 이는 홍수기때 유입된 부유물 및 유기물의 침강 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 삼교호 및 금강호의 경우도 2차조사 시기의 측정값이 전반적으로 높게 조사되어 외부로부터 침강물질의 유입이 많았음을 알 수 있었다. 이와는 달리 하천퇴적물의 경우 하천 유량이 적었던 갈수기에 측정한 1차 조사시점의 측정값이 높게 조사되었고, 2차 조사시기는 홍수기 후의 측정값으로 홍수시 하상 퇴적물이 하류로 유출 되어 낮은값을 보였다. 수분함량 및 강열감량의 분석결과 수분함량은 유기물 함량과 비례하며, 호소의 경우 항시 수체의 흐름이 있는 하천보다 유기물 함량이 높게 나타났고 홍수기때 유입된 유기물로 인하여 강열감량이 홍수기 후의 측정값 보다 높게 조사 되었다. 그러나, 하천의 경우는 갈수기였던 1차 조사시점의 측정값이 홍수기가 지난 후인 2차 측정값보다 높아 호소와는 다른 특성을 보였다. 또한 강열감량의 분석결과만으로도 COD 및 TKN, TP의 경향을 어느 정도 예측할 수 있었으며, 퇴적물의 구성입자가 작으면 유기물의 함량이 높음을 알 수 있었다.

2. 화학적 산소요구량

퇴적물의 COD조사를 통해 대청호, 삼교호 및 금강호 등의 호소 퇴적물과 하천 퇴적물의 특성을 명확히 구분 할 수 있었다. 대청호의 경우 홍수기전이었던 1차조사의 값보다 2차조사의 결과 값이 높게 나타났다. 이러한 경향은 삼교호 및 금강호와는 달리 홍수기에 유입된 부유물질이 침전으로 인하여 유기물의 함량이 증가한 것으로 볼 수 있다.

Table 1. Water contents and ignition loss

Items	Water contents(%)		Ignition loss(%)	
	1st	2nd	1st	2nd
Sites				
K1	59.287	70.804	2.497	10.117
K2	56.729	56.071	9.696	11.637
K3	54.070	45.311	10.855	9.611
K4	59.490	41.917	8.938	10.751
K5	58.949	34.762	8.180	10.240
K6	52.733	42.068	8.026	18.718
K7	61.330	43.212	4.878	11.123
K8	49.042	26.526	5.464	8.042
K9	-	-	1.509	0.006
K10	-	-	5.424	0.025
K11	-	-	10.611	0.013
K12	-	-	0.760	0.005
K13	-	-	0.920	0.006
K14	-	-	0.820	0.008

앞서 언급한 강열감량의 결과는 1차와 2차때의 경향을 명확히 규명하기 곤란하지만, COD의 분석 결과로부터 홍수기에 많은 부유물질과 함께 유기물이 유입된 것으로 판단 할 수 있다.

청호 4개지점의 경우 COD함량은 1차와 2차조사 시기 모두 $K1 < K2 < K3 < K4$ 의 순으로 증가하는 경향을 보였다. K3와 K4의 측정값이 기타 지점에 비해 높은 것은 K3 지점은 기존에 많은 양어장이 밀집하였던 장소이며, K4의 경우 기존의 양어장 뿐만 아니라, 이 지역으로 유입되는 오염 하천이 있고, 분류구간과 합류되는 지점이어서 호소 저층의 수체흐름이 느리기 때문인 것으로 판단된다. 금강호와 삼교호의 측정 지점인 K5~K8의 경우 대청호에 비하여 유기물 함량이 낮은 것으로 조사되었는데, 이는 하구호 특성 상 서해안의 조류 및 홍수조절 기능에 따라 필요시 수문을 열어 많은 물을 배출하기 때문에 호소 저층에 누적되는 유기물의 양이 상대적으로 대청호에 비해 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical oxygen demand

Items	Chemical oxygen demand($\mu\text{g}/\text{g}_{\text{sed}}$)	
	1st	2nd
Sites		
K1	5198.2	9623.0
K2	8928.6	14714.2
K3	9727.6	16817.7
K4	12997.6	23939.0
K5	13362.0	12286.4
K6	16816.8	12598.8
K7	18885.7	16060.7
K8	29180.7	28190.1
K9	2050.1	796.0
K10	755.8	557.9
K11	14483.3	487.8
K12	681.7	532.7
K13	501.8	257.7
K14	300.9	289.9

3. 퇴적물의 총인(TP) 및 총질소(TKN) 조사

대청호 4개 지점의 총인 함량은 1차조사 측정값은 0.004~0.129%였으며, 2차에는 0.103~0.607%으로 대부분의 조사지점에서 2차조사시 측정값이 증가하는 경향을 보여 주었다. 총질소의 함량도 1차 조사시 0.095~0.278%에서 2차조사시 0.188 ~ 1.578%로 대부분의 지점에서 증가한 경향을 보였다. 금강호 및 삼교호의 경우 총인 함량은 2차 조사시점의 측정값이 증가하는 경향을 보였으나, 총질소의 경우 K7을 제외한 다른 지점에서는 오히려 감소하는 것으로 나타나고 있어, 전반적인 경향이 다른 항목과 유사하였다. 한편, 하천의 경우 퇴적물의 조성이 불균일한 상태이기는 하지만 어느 정도 상관관계를

보였으며 하천의 총인 및 총질소 함량은 호소의 측정값에 비하여 매우 낮게 나타났다.

Table 3. Contents of TP and TKN

Items Sites	TP(%)		TKN(%)	
	1st	2nd	1st	2nd
K1	0.004	0.131	0.245	0.188
K2	0.069	0.111	0.193	1.578
K3	0.012	0.607	0.095	0.183
K4	0.129	0.103	0.278	0.934
K5	0.017	0.157	0.830	0.449
K6	0.029	0.132	0.721	0.232
K7	0.027	0.067	0.404	0.737
K8	0.053	0.035	0.372	0.273
K9	0.662	0.022	0.027	0.027
K10	0.037	0.027	0.055	0.040
K11	0.215	0.097	0.055	0.055
K12	0.017	0.013	0.013	0.025
K13	0.017	0.012	0.027	0.015
K14	0.023	0.014	0.011	0.010

4. 퇴적물의 중금속 분포

퇴적물의 중금속 분포는 Table 4와 같으며 하천 지역의 중금속함량이 상대적으로 낮은 경향을 나타내어, 역시 호소퇴적물과 하천퇴적물의 특징을 어느 정도 볼 수 있었다. 전 조사지점에 걸쳐 철의 함량이 가장 높았으며, 알루미늄, 칼슘, 마그네슘의 순서로 그 양이 감소하였다. 반면에 구리 및 아연의 함량은 상대적으로 낮게 조사되었다. 전체적인 함량특성을 보면, 조사지점에 따라 함량의 변화가 다르고, 조사시기에 따라 다른 경향을 보여 상호관계를 도출 하기는 어려웠다.

V. 결론

1. 호소퇴적물의 수분함량은 전체적으로 26.53~

70.80 %의 범위였고, 강열감량은 호소퇴적물이 2.50~18.72%, 하천퇴적물은 0.008~5.40% 이었다. 강열감량으로 볼 때 유기물 함량이 하천보다는 수체의 체류 시간이 긴 호소의 경우가 높았다.

2. COD의 전체적인 함량범위는 호소의 경우 5198.2~29180.7 $\mu\text{g/g}$ 이었고, 하천의 경우는 289.9~14483.3 $\mu\text{g/g}$ 으로 강열감량의 변화 경향과 유사하게 나타났다. 호소 중 수체의 정체시간이 긴 대청호 K1~K4 지점의 측정값은 2차 조사시기가 높게 조사 되었지만, 수체의 정체시간이 비교적 짧은 K5~K8의 측정값은 오히려 홍수기 후의 측정값이 낮았다.
3. 조사된 호소 전지점의 TP 범위는 0.004~0.607%이었고, 하천의 경우는 0.012~0.662%이었다. TKN은 호소가 0.095~1.578%이 었으며, 하천이 0.010~0.055%로서 TP와 TKN값은 각 지점 마다 어느 정도 유사한 경향을 보였으며, 조사시기에 따른 편차도 상당히 컸다.
4. 중금속의 함량은 호소가 하천보다 높게 나타났으며, 일반 토양에 많이 존재하는 알카리 및 알카리 토금속의 함량이 높았다.

참고문헌

1. Håkanson, L., 1984, On the relationship between lake trophic level and lake sediments, *Water Res.*,18(3), 303~314.
2. Kaj Hansen, 1959, Sediments from danish lakes, *J. of Sedimentary Petrology*, 29(1), 38~46.
3. Kaj Hansen, 1959, Lake types and lake sediments, *Vehr. Internat. Verein. Limnol.*, XIV, 38~46.
4. J. M. Anderson, 1975, An Ignition method

Table 4. Contents of Heavy metal ion($\mu\text{g/g}$)

Sites	Metal	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Ba	K	Ca	Al
	K1	1st	3241.5	67432.5	43.4	141.8	654.3	21358.6	3163.8	15694.3
	2nd	3740.9	55444.3	32.9	148.9	151.4	19435.5	2455.9	12550.0	37039.6
K2	1st	3734.0	70405.7	37.7	158.5	541.9	23707.2	1992.8	14578.3	41447.8
	2nd	3728.3	47496.5	20.3	130.5	334.3	17245.1	1545.9	9435.4	31986.8
K3	1st	3761.0	64390.1	42.4	56.5	523.7	18425.7	1620.2	15431.6	33597.0
	2nd	3762.8	48540.3	31.3	191.8	475.0	18341.0	1257.2	38433.6	30118.7
K4	1st	3747.0	70630.4	55.3	117.3	808.0	25907.8	3142.4	13208.3	40373.1
	2nd	3739.4	50820.3	25.9	162.4	618.2	16506.6	1445.5	13405.3	31612.6
K5	1st	3760.2	68295.6	37.7	59.1	717.0	14680.5	2706.7	10785.0	17544.5
	2nd	3741.7	48098.0	30.9	159.8	472.7	12122.1	1772.7	12452.4	28538.5
K6	1st	3711.2	51097.0	87.9	142.0	864.7	15240.1	2090.3	22899.7	38940.4
	2nd	3646.8	46799.2	26.5	129.9	477.8	10536.5	1682.9	12710.9	27160.9
K7	1st	3750.9	28866.9	24.2	106.8	1159.0	16536.7	4366.5	13009.5	28697.0
	2nd	3731.2	33549.6	17.8	86.74	370.2	6318.6	1044.1	8834.0	15312.4
K8	1st	3776.9	48632.0	35.1	131.3	1022.9	18783.6	4792.7	17129.3	40726.2
	2nd	3776.0	18683.0	23.4	100.3	484.3	14212.6	4612.4	2347.9	54323.6
K9	1st	2748.4	17627.1	15.6	60.6	115.6	4503.1	832.6	8028.6	6468.6
	2nd	2767.0	6009.1	1.8	21.0	53.30	1325.6	179.7	3956.8	2644.2
K10	1st	1997.6	14412.7	65.2	89.7	95.3	4102.0	635.2	9528.5	5433.4
	2nd	2773.1	16296.5	10.4	103.2	193.8	4880.9	706.2	8293.3	8073.2
K11	1st	1310.3	8208.2	13.1	68.9	50.7	2486.4	402.8	6296.2	3493.4
	2nd	1055.8	7340.9	4.7	30.5	79.9	2890.2	447.8	8150.2	6490.2
K12	1st	1018.8	5908.6	9.9	11.4	23.3	1649.4	229.1	2167.8	2144.9
	2nd	846.1	5761.1	2.5	23.7	23.8	1009.2	230.8	1150.2	2149.4
K13	1st	1021.4	6208.6	9.7	20.3	44.3	1654.8	180.8	2452.8	2139.5
	2nd	575.9	3036.0	1.9	12.3	5.3	1244.5	120.4	7004.7	3404.7
K14	1st	3600.4	21543.2	10.9	41.2	150.3	6008.2	1080.5	9820.3	8126.3
	2nd	3717.4	22155.7	16.9	51.3	177.7	6762.1	1090.8	9208.4	8124.5

- for determination of total phosphorus in lake sediments, *Water Research*, 10, 329~331.
5. Hosomi, M., Okada, M., and Sudo, R. 1981, Release of Phosphorus from Sediments, *Vehr. Internat. Verein. Limnol.*, 21, 628~633.
 6. Hosomi, Okada and Sudo, 1992, Release of phosphorus from lake sediment, *Environment International*, 7, 93~98.
 7. Nakajima, Yarita, Kobayashi and Ogura, 1979, Fraction of phosphorus in sediments of eutrophic lake and river, *Jap. J. Limnol*, 40(3), 129~136
 8. 국립환경연구원, 1988, 팔당호 준설이 수질에 미치는 영향(II)